

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑪ DE 3427476 A1

⑳ Aktenzeichen: P 34 27 476.6  
㉔ Anmeldetag: 25. 7. 84  
㉕ Offenlegungstag: 31. 10. 85

㉖ Int. Cl. 4:  
H01 L 29/02  
H 01 L 29/66  
H 01 L 29/78  
H 01 L 31/10  
G 01 T 1/24

DE 3427476 A1

③⑩ Innere Priorität: ③② ③③ ③①  
25.04.84 DE 84 12 743.0 25.04.84 DE 84 12 759.7  
19.05.84 DE 84 15 356.3

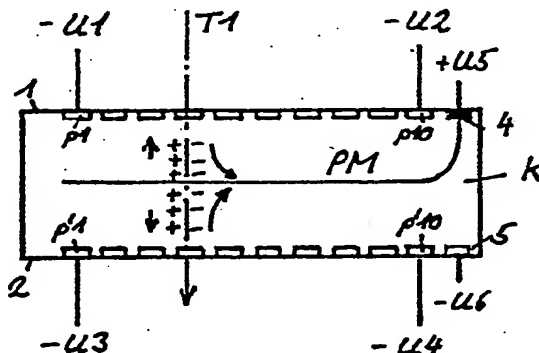
⑦① Anmelder:  
Kemmer, Josef, Dr., 8048 Haimhausen, DE; Lutz,  
Gerhard, Dr., 8000 München, DE

⑦④ Vertreter:  
Münich, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.;  
Schiller, W., Dr., Rechtsanwalt., 8000 München

⑦② Erfinder:  
gleich Anmelder

⑤④ Halbleiterelement

Beschrieben wird ein Halbleiterelement mit einem Grundgebiet, an das von mindestens einer Begrenzungsfläche eine Vorspannung angelegt ist, die das Grundgebiet vollständig an Majoritätsträgern verarmt und ein Potentialminimum im Grundgebiet für die Majoritätsträger erzeugt, in dem die Majoritätsträger gesammelt und bewegt werden. Erfindungsgemäß werden auf mindestens einer Seite des Potentialminimums (PM) die Menge, die Bewegungsrichtung und/oder die Geschwindigkeit der Minoritätsträger durch den Verlauf des Potentialminimums gesteuert.



DE 3427476 A1

25.07.84

KANZLEI

MÜNICH & SCHILLER

DIPL.-PHYSIKER

DR. WILHELM MÜNICH PATENTANWALT  
DR. WALTER SCHILLER RECHTSANWALT

3427476

WILLIBALDSTR. 86 · D 8000 MÜNCHEN 21

TEL.: 089/5808049 · TELEX: 528464 WMUEN D

UNSER ZEICHEN: F 14/84

Dr. Josef Kemmer

Hauptstr. 41D

8048 Haimhausen

Dr. Gerhard Lutz

Therese-Giese-Allee 23

8000 München 83

---

Halbleiterelement

---

### P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Halbleiterelement mit einem Grundgebiet, an das von mindestens einer Begrenzungsfläche eine Vorspannung angelegt ist, die das Grundgebiet vollständig an Majoritätsträgern verarmt und ein Potentialminimum im Grundgebiet für die Majoritätsträger erzeugt, in dem die Majoritätsträger gesammelt und bewegt werden, dadurch gekennzeichnet, daß auf mindestens einer Seite des Potentialminimums (PM) die Menge, die Bewegungsrichtung und/oder die Geschwindigkeit der Minoritätsträger durch den

1

Verlauf des Potentialminimums gesteuert werden.

2. Halbleiterelement nach Anspruch 1,

5 dadurch gekennzeichnet, daß das Grundgebiet ein Halbleiterkörper (k) eines ersten Leitfähigkeitstyps bildet, auf dessen Hauptoberflächen (1,2) Elektrodenanordnungen (p;p 1..) für das Anlegen der Vorspannungen vorgesehen sind.

10 3. Halbleiterelement nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, daß die Bewegungsrichtung und/oder die Geschwindigkeit der Minoritätsträger zusätzlich durch den Verlauf des Potentials unter den Hauptoberflächen (1,2) gesteuert werden.

15

4. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet, durch mindestens eine Sammelelektrode (p) für die Minoritätsträger.

20 5. Halbleiterelement nach Anspruch 2 oder 3,

dadurch gekennzeichnet, daß auf jeder Hauptoberfläche (1,2) Sammelelektroden für die Minoritätsträger vorgesehen sind.

6. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

25 gekennzeichnet, durch mindestens eine Sammelelektrode (n+) für die Majoritätsträger.

7. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 6,

30 dadurch gekennzeichnet, daß die Dotierung des Grundgebietes (k) im Bereich mindestens einer Hauptoberfläche (1,2) zum Einstellen des Verlaufs des Potentialminimums (PM) definiert verändert ist.

8. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 7,

35 dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung oder ein Teil derselben auf mindestens einer der Hauptoberflächen

1

(1,2) eine Isolationsschicht ( $\text{SiO}_2$ ) ist, auf der eine leitende Schicht (p..;R) mit einem definierten Flächenwiderstand aufgebracht ist (RIS-Struktur).

5

9. Halbleiterelement nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die leitende Schicht eine Widerstandsschicht ist.

10 10. Halbleiterelement nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet, daß die leitende Schicht niederohmig ist.

11. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 10,

15 dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung oder ein Teil derselben auf mindestens einer der beiden Hauptoberflächen (1,2) eine an sich bekannte Sperrschicht (p) mit einem definierten Flächenwiderstand ist.

20 12. Halbleiterelement nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet, daß der Flächenwiderstand niederohmig ist.

13. Halbleiterelement nach Anspruch 11 oder 12,

25 dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Gebiet eines zweiten Leitfähigkeitstyps zusammen mit dem Grundgebiet die Sperrschicht bildet.

14. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 13,

30 dadurch gekennzeichnet, daß eine Vielzahl von voneinander getrennten Sperrschichten und/oder RIS-Strukturen die Elektrodenanordnung bildet.

15. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 14,

35 dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Gebiete matrix- oder streifenförmig angeordnet sind.

1

16. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 14, bei dem auf einer Hauptoberfläche eine Elektrodenanordnung  
5 gemäß einem dieser Ansprüche vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß auf der anderen Hauptoberfläche eine Struktur vorgesehen ist, die in an sich bekannter Weise als Minoritätsträger-CCD betreibbar ist.

10 17. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den streifen- oder matrixförmigen Elektroden auf der einen Hauptoberfläche Löschelektroden zum Absaugen der Majoritätsträger vorgesehen sind.

15

18. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung auf der einen Hauptoberfläche Streifen eines zweiten Leitfähigkeitstyps sind, zu denen senkrecht in der Hauptober-  
20 fläche Streifen mit der gleichen Leitfähigkeit wie der des Halbleiterkörpers verlaufen.

19. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Streifen mit der gleichen  
25 Leitfähigkeit angrenzend an die senkrecht zu ihnen verlaufenden Streifen des anderen Leitfähigkeitstyps eine höhere Dotierung aufweisen.

20. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 19,  
30 dadurch gekennzeichnet, daß die streifenförmige oder matrixförmige Struktur auf der einen Hauptoberfläche aus alternierenden und in Richtung der Flächennormale versetzt gegeneinander angeordneten RIS-Strukturen und Sperrschichten besteht.

35

21. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 20,

dadurch gekennzeichnet, daß die Sammelelektrode für die Majoritätsträger ein Anreicherungsgebiet der gleichen Leitfähigkeit wie der des Halbleiterkörpers ist.

522. Halbleiterelement nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erniedrigung der Kapazität der Sammelelektrode für Majoritätsträger angrenzend an die Sammelelektrode ein Verarmungsgebiet der zur Leitfähigkeit des Halbleiterkörpers entgegengesetzten Leitfähigkeit angeordnet ist.

10

23. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest Teile der Elektrodenanordnung auf mindestens einer der Hauptoberflächen "wannenförmige" Gebiete mit einer zur Leitfähigkeit des Halbleiterkörpers entgegengesetzten Leitfähigkeit aufweisen.

15

24. Halbleiterelement nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die wannenförmigen Gebiete als Grundkörper für elektronische Elemente und insbesondere für CMOS-Elemente dienen.

20

25. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung zur Erzeugung des Potentialminimums für die Majoritätsträger auf mindestens einer der Hauptoberflächen gleichzeitig als Teil von elektronischen Elementen und insbesondere als Source und Drain von Feldeffekttransistoren dient.

25

26. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 2 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen die Elektrodenanordnung auf mindestens einer der beiden Hauptoberflächen wenigstens ein Gebiet eingeschoben ist, das Teil eines elektronischen Elements ist.

30

27. Halbleiterelement nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß durch übereinander oder nebeneinander angeordnete Gebiete unterschiedlicher Dotierung und/oder Heterostrukturen mehrere Potentialminima vorhanden sind.

35

128. Halbleiterelement nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, daß das Majoritäts- und/oder Minoritätsträgersignal an die eingeschobenen Gebiete durch Influenz angekoppelt wird.

5

29. Verwendung eines Halbleiterelements nach einem der Ansprüche 23 bis 28 als Grundkörper für elektronische Elemente zum Ersatz einer Epitaxieschicht.

1030. Verwendung eines Halbleiterelements nach einem der Ansprüche 23 bis 28 als Single-Photon-Avalanche-Diode.

31. Verwendung eines Halbleiterelements nach einem der Ansprüche 2 bis 28 als Detektor für Teilchen und/oder elektromagnetische Strahlung.

32. Verwendung eines Halbleiterelements nach einem der Ansprüche 2 bis 28 als positionsempfindlicher Strahlungsdetektor für Majoritätsträger vom Driftkammertyp mit internen Trigger.

33. Verwendung eines Halbleiterelements nach einem der Ansprüche 2 bis 28 als positionsempfindlicher Detektor für Minoritätsträger und/oder Majoritätsträger.

25

34. Verwendung eines Halbleiterelements nach einem der Ansprüche 2 bis 28 als kombinierter Detektor.

35. Verwendung eines Halbleiterelements nach einem der Ansprüche 2 bis 28 als positionsempfindlicher CCD-Detektor.

36. Verwendung eines Halbleiterelements nach einem der Ansprüche 2 bis 28 als CCD-Element für die Majoritätsträger, bei dem die von den Minoritätsträgern erzeugten Signale anderweitig ausgelesen werden.

37. Verwendung eines Halbleiterelements nach einem der An-

25-07-04

-7-

3427476

1 sprüche 2 bis 28 als CCD-Element für die Majoritätsträger und mindestens für die Minoritätsträger, die zwischen der einen Hauptoberfläche und dem Potentialminimum für die Majoritätsträger erzeugt werden.

5

38. Verwendung eines Halbleiterelements nach einem der vorstehenden Ansprüche in Verbindung mit Anspruch 8 als kontinuierliches CCD-Element.

10 39. Verwendung eines Halbleiterelements nach einem der Ansprüche 1 bis 38 als Strahlungsdetektor mit eingebauter elektronischer Signalverstärkung.

15

20

25

30

35



1

# B e s c h r e i b u n g

Die Erfindung bezieht sich auf ein Halbleiterelement gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

5

Ein derartiges Halbleiterelement für den speziellen Anwendungsfall "Halbleiterdetektor" ist aus der Veröffentlichung 33523 des Brookhaven National Laboratory, August 1983 bekannt. Bei diesem bekannten Detektor, der auch als Halbleiterdriftkammer bezeichnet wird, läßt sich die Position der einfallenden Teilchen über die Driftzeit der Majoritätsträger, beispielsweise der Elektronen bei einem n-dotierten Halbleiterkörper, in einem elektrischen Transversalfeld bestimmen. Darüberhinaus sind in dieser Veröffentlichung verschiedene Modifikationen des Halbleiterdetektors beschrieben; gemäß einer Modifikation läßt sich der Halbleiterdetektor beispielsweise als CCD-Element für die Majoritätsträger verwenden.

10

15

20

Bei dem bekannten Halbleiterdetektor wird der Halbleiterkörper durch von beiden Hauptoberflächen angelegte Vorspannung vollständig verarmt, so daß sich im Inneren des Körpers ein Potentialminimum für die Majoritätsträger befindet, in dem die Majoritätsträger gesammelt und bewegt werden. Den Minoritätsträgern andererseits wird keine Beachtung geschenkt.

25

30

Erfindungsgemäß ist nun erkannt worden, daß die Existenz des Potentialminimums für die Majoritätsträger, das gleichzeitig ein Potentialmaximum für die Minoritätsträger darstellt, eine gezielte Beeinflussung der Menge, der Bewegungsrichtung und/oder der Geschwindigkeit der Minoritätsträger erlaubt; hierdurch ergeben sich für erfindungsgemäße Halbleiterelemente gemäß den Ansprüchen 1 bis 28 eine Reihe von zusätzlichen Anwendungsmöglichkeiten.

35

1

Durch den Verlauf jedes der Potentialmaxima für die Minoritätsträger wird das Grundgebiet in mehrere für die Minoritätsträger unabhängige Teile auf beiden Seiten der Potentialmaxima geteilt. Dies ermöglicht beispielsweise mit einem vergleichsweise dicken Halbleiterkörper und einem dicht unter einer Hauptoberfläche, in der sich weitere Gebiete befinden, die elektronische Elemente bilden, liegenden Potentialmaximum eine Epitaxieschicht zu simulieren, d.h. man erreicht mit einem vergleichsweise dicken Grundkörper die Vorteile beispielsweise hinsichtlich Grenzfrequenz, Sperrströme etc. einer Epitaxieschicht (Anspruch 26).

15

Natürlich ist es durch eine spezielle geometrische Gestaltung auch möglich, in einem Grundgebiet mehrere Potentialmaxima beispielsweise mittels eines Sandwich-Aufbaus zu erzeugen, bei dem sich p- und n-dotierte Gebiete abwechseln. Ferner ist es auch möglich, eine Zylindergeometrie zu verwenden, bei der das Potentialmaximum in der Zylinderachse verläuft.

Insbesondere dann, wenn das erfindungsgemäße Halbleiterelement als Detektor für Teilchen und/oder Strahlung, wie  $\gamma$ -Strahlung und Röntgenstrahlung, aber auch für Strahlung mit Wellenlängen vom UV bis Infrarot verwendet wird, ist es von Vorteil, daß durch die Aufteilung des Halbleiterkörpers in mindestens zwei für die Minoritätsträger unabhängige Teile an jeder Hauptoberfläche ein Minoritätsträgersignal erzeugt wird, das von in unterschiedlichen Teilen des Halbleiterkörpers gebildeten Minoritätsträgern abgegeben wird, und das in unterschiedlicher Weise weiterverarbeitet werden kann. Beispielsweise kann das an einer Hauptoberfläche des Halbleiterkörpers anstehende Minoritätsträgersignal als Triggersignals für das von den Majoritätsträgern an der

1

Sammelelektrode hervorgerufene Signal dienen. Ferner können die Minoritätsträgersignale auch zur Positions- und/oder zur Energie- und Reichweitenbestimmung der einfallenden Strahlung  
5 verwendet werden. Dabei ist es möglich, das Minoritätsträgersignal "schnell" auszulesen oder den erfindungsgemäßen Halbleiterdetektor als CCD-Element für die Minoritätsträgersignale zu verwenden.

10 Die Bewegungsrichtung und/oder die Geschwindigkeit der Minoritätsträger kann darüberhinaus erfindungsgemäß auch durch den Verlauf des Potentials unter den Hauptoberflächen beeinflusst werden (Anspruch 3). Der Verlauf des Potentials wiederum kann beispielsweise durch die Dotierung (Anspruch 7),  
15 die Elektrodengestaltung etc. beeinflusst werden.

Verschiedene Möglichkeiten der Elektrodengestaltung auf den beiden Hauptoberflächen sind in den Ansprüchen 4 folgende gekennzeichnet. Dabei können Elektrodenanordnungen gemäß  
20 einem der Ansprüche auf beiden oder nur auf einer der Hauptoberflächen vorgesehen werden.

Erfindungsgemäß ist es möglich, die Minoritätsträgersignale aus nur einem der durch Potentialmaxima getrennten Gebiete  
25 (Anspruch 4), aus mehreren oder aus allen voneinander getrennten Gebieten auszulesen (Anspruch 5).

Ferner ist es möglich, zusätzlich auch das Majoritätsträgersignal auszuwerten, das von den im gesamten Körper gebildeten  
30 und im Potentialminimum gesammelten Majoritätsträgern erzeugt wird. Hierzu ist mindestens eine Sammelelektrode für die Majoritätsträger vorzusehen (Anspruch 6).

Besonders vorteilhaft ist die Elektrodengestaltung gemäß Anspruch  
35 spruch 8. Durch die erfindungsgemäß vorgesehene RIS-Struktur, d.h. eine Struktur, bei der auf mindestens einer

1 Hauptoberfläche eine Isolationsschicht vorgesehen ist, auf  
der sich eine leitende Schicht, beispielsweise eine Wider-  
standsschicht oder eine niederohmige Schicht befindet, wird  
nicht nur ein Abfließen der Minoritätsträger in die Bereiche  
5 der Hauptoberflächen verhindert, sondern es ist auch  
möglich, beispielsweise ein gegen die Hauptoberflächen  
"verkipptes" Potential zu erzeugen. Eine derartige RIS-  
Struktur kann im Grenzfall, wenn die oberste Schicht nieder-  
ohmig ist, beispielsweise eine MOS-Struktur sein.  
10

Darüberhinaus ermöglicht diese Elektrodenausbildung die  
Realisierung eines kontinuierlichen CCD-Elements, bei dem  
das Verschieben der zu der Hauptoberfläche geflossenen  
Minoritätsträger kontinuierlich erfolgt. Ein derartiges  
15 CCD-Element hat den Vorteil, daß die einzelnen Zellen nicht  
gelöscht werden müssen.

Ferner kann die Elektrodenanordnung nach Anspruch 11 auch  
eine an sich bekannte Sperrschicht sein, die beispielsweise  
20 von pn-Übergängen, Schottky-Übergängen oder heterogenen  
Strukturen gebildet wird.

Bei einer weiteren Fortbildung der Erfindung gemäß Anspruch  
12 wird mindestens eine der als Elektrodenanordnung verwen-  
25 deten Sperrschichten großflächig und niederohmig ausgebil-  
det. Hierdurch erhält man zum einem ein schnelles Trigger-  
signal, zum anderen wird durch das großflächig ausgeführte  
Gebiet die Fotolitographie bei der Herstellung vereinfacht.

30 Gemäß Anspruch 13 bilden bevorzugter Weise pn-Übergänge  
die Sperrschicht.

Die Anordnungen gemäß Anspruch 14 und 15 haben beispiels-  
weise den Vorteil, daß durch geeignete an die Elektroden-  
35 anordnungen angelegte Vorspannungen ein definierter

1

transversaler Potentialgradient erzeugt werden kann. Ferner kann beispielsweise an einem Gebiet des zweiten Leitfähigkeitstyps eine zweite Spannung angelegt werden, die 5 die Durchbruchspannung des pn-Übergangs um ein Vielfaches übersteigt. Hierdurch stellt sich an den benachbarten Gebieten eine Spannung ein, die von einem Gebiet zum Nächsten um jeweils die Durchbruchspannung abnimmt. Auf diese Weise ist es - wie in der älteren Patentanmeldung P 34 10 09 163.7 beschrieben - möglich, mit geringem äußeren Schaltungsaufwand ein genau definiertes transversales elektrisches Feld im Halbleiterkörper einzustellen.

Die streifen- oder matrixförmigen Gebiete gemäß Anspruch 15 15 erlauben eine Ortsauflösung. Ferner ist es beispielsweise bei streifenförmigen Gebieten möglich, diese durch implantierte "Querstreifen" zu verbinden und so einen integrierten Spannungsteiler aufzubauen.

20 Der zum Aufbau eines transversalen Feldes erforderliche äußere Schaltungsaufwand kann auch dadurch vereinfacht werden, daß z.B. ein Gebiet des zweiten Leitfähigkeitstyps auf mindestens einer der beiden Hauptoberflächen ein großflächiges hochohmiges Gebiet ist (Anspruch 11); der in 25 diesem Gebiet auftretende Spannungsabfall in Transversalrichtung erzeugt das gewünschte transversale elektrische Feld. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß der Justieraufwand bei der Herstellung beträchtlich geringer ist als bei einer Anordnung, bei der sich auf beiden 30 Hauptoberflächen eine Vielzahl von voneinander getrennten Gebieten befindet.

Der erfindungsgemäße Halbleiterdetektor hat insbesondere dann, wenn er als CCD-Halbleiterdetektor für die Majoritäts- 35 träger betrieben wird, eine Reihe von Vorteilen:

1

Beispielsweise kann das Minoritätsträgersignal ohne Verzögerung ausgelesen werden, so daß zusätzlich zu dem CCD-Signal der Majoritätsträger ein schnelles Signal zur Verfügung  
5 steht, das z.B. als Triggersignal verwendet werden kann.

Eine streifen- oder matrixförmige Ausbildung der Elektroden auf der anderen Hauptoberfläche gestattet darüberhinaus eine Ortsauflösung des von den Minoritätsträgern erzeugten Sig-  
10 nals in Richtung der Hauptoberfläche.

Hierdurch wird eine Zuordnung der langsam auslesbaren CCD-Signale zu den schnellen Minoritätsträger-Signalen möglich, die beispielsweise partielles Lesen, d.h. das  
15 Überspringen "leerer" CCD-Zellen erlaubt, so daß die Auslesegeschwindigkeit drastisch erhöht werden kann. Ferner können beispielsweise Signale von "unerwünschten" Ereignissen während der Auslesezeit ausgeschieden werden.

20 In jedem Falle hat das erfindungsgemäße CCD-Halbleiterbauelement die Vorteile, daß das voll depletierte Volumen große Signale für durchlaufende Teilchen bzw. Strahlung ergibt, und daß die Signale dennoch nahe der Oberfläche gespeichert werden.

25

Die streifen- oder matrixförmige Struktur auf der einen der beiden Hauptoberflächen kann eine RIS-Struktur, insbesondere eine MOS-Struktur, oder eine "Bipolar"-Struktur sein, d.h. sie kann aus pn-Übergängen bestehen. Natürlich können  
30 auch Schottky-Übergänge, heterogene Übergänge etc. verwendet werden.

Die Verwendung einer RIS-Struktur oder MOS-Struktur hat den Vorteil, das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement als CCD-  
35 Element sowohl für die Majoritätsträger als auch für die Minoritätsträger betreiben zu können. Man erhält dadurch zwei

1

"Ladungsbilder". Dabei wird das "Ladungsbild" der Majoritätsträger durch im gesamten Halbleiterkörper erzeugte Majoritätsträger hervorgerufen, während das "Ladungsbild"

5 der Minoritätsträger nur von den Minoritätsträgern erzeugt wird, die durch die einfallende Strahlung zwischen der Hauptoberfläche mit RIS-Struktur und dem Potentialminimum für die Majoritätsträger gebildet werden. Damit erlaubt ein Vergleich der beiden "Ladungsbilder" beispielsweise eine

10 Diskriminierung unterschiedlicher Eindringtiefen. Verwendet man das erfindungsgemäße CCD-Element beispielsweise als Detektor für sichtbares Licht und Infrarotstrahlung und fällt die Strahlung durch die Hauptoberfläche ein, auf der sich die RIS-Struktur befindet, so gibt das Ladungsbild der Ma-  
15 joritätsträger das vom sichtbaren Licht und vom Infrarotlicht erzeugte Bild wieder, während das Ladungsbild der Minoritätsträger im wesentlichen das vom sichtbaren Licht erzeugte Bild wiedergibt.

20 Das Aufbringen einer Minoritätsträger-CCD-Struktur auf der anderen Hauptoberfläche erlaubt es darüberhinaus, ein drittes Ladungsbild auszulesen, wobei das gewonnene Minoritätsträgerbild ein Infrarotbild liefert.

25 Durch die Ausbildung gemäß den Ansprüchen 18 und 19 erhält man beispielsweise bevorzugte Schieberichtungen bei CCD- Elementen.

Ferner ist es möglich, MIS- und Bipolarstrukturen alternie-  
30 rend und in Richtung der Normalen der Hauptoberfläche versetzt anzuordnen; hierdurch können die CCD-Zellen sehr dicht gepackt werden. Diese Anordnung ist darüberhinaus technologisch sehr einfach herzustellen (Anspruch 21). Das erfindungsgemäße Halbleiterelement erlaubt es darüberhinaus in  
35 sehr einfacher Weise, elektronische Strukturen mit in den Halbleiterkörper zu integrieren.

- 1 Mögliche Verwendungen der erfindungsgemäßen Halbleiterelemente sind in den Ansprüchen 29 ff gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben, in der zeigen:

- Fig. 1 einen Querschnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung,
- 10 Fig. 2 einen Querschnitt durch ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung,
- Fig. 3a und b einen Querschnitt durch ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung,
- 15 Fig. 4 einen Querschnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung bei Verwendung als "kombinierter Halbleiterdetektor",
- Fig. 5a und b einen Querschnitt durch ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung bei Verwendung als kombinierter Halbleiterdetektor,
- 20 Fig. 6 einen Querschnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung bei Verwendung als CCD-Element,
- 25 Fig. 7 einen Querschnitt durch ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung bei Verwendung als CCD-Element,
- Fig. 8 einen Querschnitt durch ein Ausführungsbeispiel der Erfindung bei Verwendung als Majoritätsträger-CCD-Element,
- 30 Fig. 9 einen Querschnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung bei Verwendung als kontinuierliches CCD-Element,
- 35 Fig. 10 einen Querschnitt durch ein zweites Ausführungsbeispiel bei Verwendung als kontinuierliches CCD-Element,



1 Fig. 11 einen Querschnitt durch eine erfindungsgemäß ausgebildete Single-Photon-Avalanche-Diode,

Fig. 12 einen Querschnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel  
5 eines erfindungsgemäßen Halbleiterelements mit integrierten elektronischen Strukturen, und

Fig. 13a bis 13c einen Querschnitt durch ein zweites Ausführungsbeispiel mit integrierten elektronischen  
10 Strukturen.

Mit den im folgenden erläuterten Ausführungsbeispielen soll exemplarisch für den Anwendungsfall "Halbleiterdetektor" gezeigt werden, daß durch die Kombination verschiedener Elektrodenstrukturen aufbauend auf ein- und demselben Grundgedanken die verschiedensten Halbleiterelemente für unterschiedliche Zwecke realisiert werden können.  
15

In den im folgenden erläuterten Figuren ist mit k jeweils ein Halbleiterkörper bezeichnet, der zwei Hauptoberflächen 1 und 2 aufweist, und der bei den vorgestellten Ausführungsbeispielen ohne Beschränkung der Allgemeinheit aus hochohmigen homogen n-dotiertem Silizium besteht. Die in den Hauptoberflächen vorgesehenen Gebiete eines zweiten Leitfähigkeitstyps sind p-Gebiete und werden mit p1, p2,... usw. bezeichnet.  
20  
25

Figur 1 zeigt einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Halbleiterdetektor. Auf der Hauptoberfläche 1 befindet sich eine Vielzahl von p-Gebieten p1... p10,... und auf der Hauptoberfläche 2 eine Vielzahl von p-Gebieten p'1... p'2,...  
30 Ferner befinden sich auf der Hauptoberfläche 1 ein n<sup>+</sup>-Gebiet 4 und auf der Hauptoberfläche 2 eine p-dotierte Gegenelektrode 5, an der eine Spannung -U<sub>G</sub> anliegt, und die den Potentialverlauf "glättet".  
35

An Elektroden auf den p-Gebieten p1, p10, p'1, p'10 sind

1

Spannungen  $-U_1$ ,  $-U_2$ ,  $-U_3$  bzw.  $-U_4$  angelegt. Die Größe der Spannungen ist so gewählt, daß einerseits ein transversales elektrisches Feld aufgebaut wird, und andererseits  
 5 der Halbleiterkörper vollständig an Majoritätsträgern, d.h. Elektronen verarmt ist. Dabei besteht folgende Beziehung:

$$|U_1| > |U_2|, \quad |U_3| > |U_4| \quad (*)$$

10 Die Elektronen werden dann in einem Potentialminimum, das durch eine Linie PM dargestellt ist, in der Mitte des Halbleiterkörpers gesammelt.

Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist  $U_1 = U_3$  und  $U_2 =$   
 15  $U_4 (=0V)$ , so daß sich das Potentialminimum in der Mitte des Halbleiterkörpers befindet.

Ein einfallendes ionisierendes Teilchen T1 erzeugt im Halbleiterkörper Elektronen/Loch-Paare, die schematisch durch +  
 20 und - Symbole dargestellt sind. Die Elektronen driften entlang des Potentialsminimums PM zu dem  $n^+$ -Gebiet 4, an dem eine Spannung  $+U_5$  anliegt, und das als Anode wirkt. Die Minoritätsträger d.h. die Löcher laufen zu dem p-Kontakten, an denen sie zur Auslösung eines Triggersignals für  
 25 die Elektronenlaufzeit benutzt werden können.

Bei dem in Figur 1 dargestellten Halbleiterdetektor besteht jedoch die Einschränkung, daß an den Elektroden, die auf den  $p^+$ -Gebieten aufgebracht sind, anfänglich ein dem  
 30 von den Löchern erzeugten Signal entgegengesetztes Signal von Elektronen influenziert wird, das das von den Löchern erzeugte Signal sogar kompensieren kann; ein Triggersignal kann trotzdem z.B. durch Bewertung der Signalform abgegriffen werden.

35 Figur 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterdetektors. Der Halbleiterdetektor

1

weist ebenfalls einen Halbleiterkörper k aus n-Silizium mit zwei Hauptflächen 1 bzw. 2 auf. Auf den beiden Hauptoberflächen sind jedoch keine voneinander getrennten streifen-  
5 oder ringförmigen  $p^+$ -Gebiete aufgebracht, die jeweils voneinander beabstandet sind. Vielmehr befindet sich auf jeder Hauptoberfläche jeweils ein großflächiges p-Gebiet  $p_1$  bzw.  $p_2$ , das vergleichsweise hochohmig nach einem an sich bekannten Implantationsverfahren hergestellt ist, und das  
10 damit als Widerstandsschicht dienen kann. An einander gegenüberliegenden Stellen der Gebiete  $p_1$  bzw.  $p_2$  sind Elektroden E1, E2 bzw. E3, E4 angebracht, an denen Spannungen  $-U_1$ ,  $-U_2$ ,  $-U_3$  bzw.  $-U_4$  anliegen, die die Beziehung (\*) erfüllen. An einem  $n^+$ -Gebiet  $n^+$  in der  
15 Hauptoberfläche 1 liegt eine Spannung  $U_5$  an.

Der Halbleiterdetektor gemäß Fig.2 hat nicht nur den Vorteil, daß die vergleichsweise komplizierten Elektrodenstrukturen auf den beiden Hauptoberflächen durch großflächige Gebiete  
20 ersetzt sind, und damit die Justierung bei der Herstellung vereinfacht wird, sondern auch den Vorteil, daß der Ort der die Erzeugung von Elektronen/LochPaaren auslösenden Strahlung außer aus der Elektronendriftzeit auch aus dem Verhältnis der von den Löchern an den Elektroden E1 und E2  
25 bzw. E3 und E4 erzeugten Signale grob bestimmt werden kann. Damit ist es möglich, die Zählrate des Detektors zu erhöhen, da bei zwei kurz aufeinanderfolgenden an unterschiedlichen Orten auftreffenden Teilchen eine Zuordnung der Triggersignale möglich ist.

30

Ferner ist es möglich, an den Gebieten  $p_1$  bzw.  $p_2$  mehr als zwei Elektroden anzubringen; hierdurch kann eine zweidimensionale Ortsmessung erreicht werden.

35 Darüberhinaus kann sowohl bei dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel als auch bei dem in Figur 2 darge-

1 stellten Ausführungsbeispiel aus den von den Löchern hervorgerufenen Signalen auch die Energie der einfallenden Teilchen (entspricht der Menge der erzeugten Ladungen) bestimmt werden.

5

Fig. 3a und 3b zeigen ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterdetektors. Im Gegensatz zu den in den Fig. 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispielen sind bei diesem Ausführungsbeispiel nur auf der einen Hauptober-  
10 fläche 2 des Halbleiterkörpers k Maßnahmen getroffen, um einen Potentialgradienten zu erzeugen. Auf der Hauptoberfläche 1 des Halbleiterkörpers k befindet sich ein großflächiges p-Gebiet p1, auf dem eine elektrisch gut leitende Schicht, beispielsweise aus Aluminium oder aus ITO (Indium-Zinnoxid)  
15 bei optischen Detektoren als Elektrode aufgebracht ist, während sich auf der anderen Hauptoberfläche 2 des Halbleiterkörpers eine Struktur befindet, die ein transversales elektrisches Feld erzeugt. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist diese Struktur wie bei dem in Fig. 2 dargestellten Aus-  
20 führungsbeispiel ein p-Gebiet mit einem definierten Flächenwiderstand.

Ferner befindet sich in der Hauptoberfläche 2 ein  $n^+$ -Gebiet 5, auf dem eine Elektrode E4 aufgebracht ist. Wenn an den  
25 Elektroden E1, E2, E3 und E4 die Spannungen  $-U_1$ ,  $-U_2$ ,  $-U_3 = 0$  und  $+U_4$  angelegt werden, ergibt sich das in Fig. 3 dargestellte Potentialminimum PM, das von der Hauptoberfläche 1 zu dem  $n^+$ -Gebiet hin verläuft. Durch dieses Potentialminimum PM wird der Halbleiterkörper k in zwei für die Minori-  
30 tätsträger (Löcher) unabhängige keilförmige Gebiete unterteilt. Der Einfallsort und die abgegebene Energie eines Teilchens, das längs seiner Bahn eine konstante Elektronen/Löcher-Dichte erzeugt und den Detektor durchquert, können auf verschiedene Weisen bestimmt werden. Hierbei wird  
35 von der Tatsache Gebrauch gemacht, daß der Anteil der Minoritätsträger, der jeweils zur oberen bzw. zur unteren

1

Elektrode wandert, von der Lage des Potentialminimums abhängt. Ein den in Fig. 3a dargestellten Detektor durchfliegendes Teilchen T1 erzeugt im oberen Teil wenig Löcher, im  
5 unteren Teil jedoch viele, während für ein Teilchen T2 das Gegenteil der Fall ist.

Es ist damit prinzipiell möglich, aus dem Signalverhältnis der Löcher in beiden Halbleiterteilen die Position des  
10 Teilchens zu bestimmen. Erschwert wird die Ortsbestimmung allerdings dadurch, daß in der Anfangsphase der Ladungswanderung die von den Löchern hervorgerufenen Signale durch Influenzsignale der Elektronen, die zum Potentialminimum wandern, überlagert werden. Der Einfluß der Elektronen auf  
15 die von den Löchern hervorgerufenen Signale an den p-Elektroden E1, E2 und E3 ist natürlich vom Abstand der Elektronenwolke, d. h. des Potentialminimums von den beiden Elektroden abhängig. Erst wenn die Elektronen die Anode, d. h. die Elektrode E4 erreicht haben, ist der Einfluß  
20 verschwunden. Man kann deshalb vorteilhafter Weise die Änderung der Signalform an den Elektroden E1, E2 und E3 zur Positionsbestimmung heranziehen.

Bei der in Fig. 3a dargestellten Lage des Potentialminimums  
25 PM überkompensiert beim Teilchen T1 das "Influenzsignal" in der Anfangsphase das "Löchersignal", bei Teilchen T2 jedoch nicht.

Vergrößert man jedoch durch Variation der Spannungen U1, U2  
30 und U3 den Abstand des Potentialminimums PM von der Hauptoberfläche 1 (Fig. 3b), so wird das an der Elektrode E1 anstehende schnelle Triggersignal, das von den Löchern erzeugt wird, unmittelbar nach dem Einfall des Teilchens T1 nicht so stark von dem "Influenzsignal" überlagert. Man erhält ein  
35 positives Signal, wenn das Potentialminimum unterhalb der geometrischen Mitte verläuft. Aus der Amplitude dieses

1

Signals ist direkt der Einfallsort bestimmbar. Durch diese grobe Ortsbestimmung über das Minoritätsträgersignal läßt sich die Zählrate des Detektors erhöhen.

5

Eine weitere Möglichkeit, den Einfluß der Elektronen zu vermindern, besteht darin, eine Elektrode, beispielsweise die auf der Hauptoberfläche 1 aufgebrachte Elektrode E1 in Form von Streifen senkrecht zur Bildebene auszuführen. Mit dem Wegwandern der Elektronen von dem jeweiligen Streifen vermindert sich der Einfluß der Influenz auf diese Querstreifen.

Verwendet man Streifen parallel zur Bildebene, d.h. Längs-  
15 streifen, so kann sofort aus der Signalform an den verschiedenen Streifen erkannt werden, welcher Streifen von der Strahlung getroffen worden ist, d.h. es ist eine zweidimensionale Ortsauflösung möglich.

20 In beiden Fällen kann jedoch an der niederohmigen Streifenelektrode ein schnelles Triggersignal für die Elektronen abgegriffen werden. Darüberhinaus kann eine zusätzliche Ortsinformation aus dem an den Elektroden E2 und E3 abgegriffenen "Löchersignal" gewonnen werden. Ferner ist  
25 es natürlich auch hier möglich, mehr als zwei Elektroden an dem Gebiet p2 anzubringen, so daß eine zweidimensionale Ortsauflösung möglich ist.

Die Fig. 4 und 5 zeigen als weitere Ausführungsbeispiele  
30 einen kombinierten Halbleiterdetektor, beispielsweise einen dE/E-Detektor, der als Diskriminator oder als Spektralanalysator für Licht mit Wellenlängen vom UV bis Infrarot verwendet werden kann. In der Hauptoberfläche 1 befindet sich ein großflächiges niederohmiges p-Gebiet p1 mit einer Elektrode E1 aus Aluminium oder ITO; in einer zweiten Haupt-  
35 oberfläche 2 befindet sich bei dem Ausführungsbeispiel gemäß

1

Fig. 4 ebenfalls ein großflächiges p-Gebiet  $p_2$ , das niederohmig oder als Widerstandsschicht ausgeführt sein kann und mindestens zwei Elektrodenanschlüsse E2 und E3 aufweist, wobei E3 E2 ringförmig umschließt.

Ferner befindet sich in der Hauptoberfläche 2 ein ringförmiges  $n^+$ -Gebiet  $n^+$ , an der die Spannung  $U_4$  ( $\geq 0$ ) anliegt.

10 Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 soll angenommen werden, daß die Strahlung durch die Hauptoberfläche 1 einfällt.

Legt man an die Elektrode E1 eine Spannung  $-U_1$  und an die 15 Elektrodenanschlüsse E2 und E3 die Spannungen  $-U_2$  und  $-U_3$  mit  $-U_2 = -U_3$  an, die groß genug sind, daß sich die Raumladungszonen berühren, so erhält man ein Potentialminimum  $\Phi_m$  für die Majoritätsträger (bei der exemplarisch gewählten Leitfähigkeit des Grundgebiets die Elektronen), 20 welches bei homogener Dotierung des Halbleiterkörpers durch die geometrische Mitte verläuft.

Wählt man die Spannungen  $-U_1$  und  $-U_2$  unterschiedlich groß, so liegt das Potentialminimum nicht in der Mitte des Körpers 25k, sondern ist zu dem mit der niedrigeren Spannung beaufschlagten Gebiet hin verschoben. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Spannung  $U_1$  kleiner als die Spannung  $U_2$ , so daß das Potentialminimum näher bei dem Gebiet p 1 liegt.

30

Durch die zwei für die Minoritätsträger unabhängigen Halbleitergebiete, wie sie sonst nur durch Epitaxie oder Ionenimplantation (buried layer) herstellbar sind, ist in einfacher Weise ein kombinierter Detektor, beispielsweise 35 ein Diskriminator, ein Spektralanalysator, oder wie bei dem in Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel ein  $dE/E$ -Detektor

250704

3427476

- 23 -

1

realisierbar. Der zwischen dem Potentialminimum PM und dem Gebiet p1 liegende Teil des Halbleiterkörpers k mit der Dicke d1 stellt den dE-Detektor dar, während der darunterliegende Teil des Körpers k mit der Dicke d2 den E-Detektor ergibt.

Dabei kann die Dicke der beiden Gebiete bzw. Detektoren beliebig durch Änderung der Spannungsverhältnisse und der Dotierung des Halbleiterkörpers, z.B. in Oberflächenrichtung eingestellt werden, d.h. d1 kann auch größer als d2 sein. Die Lage des Potentialminimums, d.h. die Dicken d1 und d2 lassen sich über den Dunkelstrom der Löcher in Abwesenheit von Teilchen bzw. Strahlung ermitteln, wobei evtl. eine zusätzliche Belichtung mit einer Infrarotleuchtdiode erfolgt. Bei Unterteilung der Elektrode E3 z.B. in Form von Streifen ist eine zweidimensionale Ortsauflösung möglich.

Wenn das Gebiet p2 als Widerstandsschicht ausgeführt ist, kann das Verhältnis des an den Elektrodenanschlüssen E2 und E3 abgegriffenen Löcherstroms zusätzlich zu einer Grobestimmung des Einfallorts dienen.

Im folgenden soll die Funktionsweise des in Fig.4 dargestellten Detektors erläutert werden: Fällt ein Teilchen auf die Hauptoberfläche 1 des dE/E-Detektors ein, so wird es bei genügend großer Reichweite den dE-Detektor vollständig durchqueren und erst im E-Detektor gestoppt werden. Die Menge der im dE-Detektor erzeugten Ladungen (Löcher) liefert den spezifischen Energieverlust, während die Ladungen (Löcher) im E-Detektor die Restenergie ergeben. Somit ist es möglich, gleichzeitig die Energie und über den spez. Energieverlust die Art des Teilchens zu bestimmen. Darüberhinaus kann sogar eventuell eine zumindest grobe Information über den Ort des einfallenden Teilchens gewonnen werden. Weiterhin kann die Dicke des dE-Detektors je nach Anwen-



1

dungsfall einfach verändert werden.

Der in Fig.4 gezeigte Detektor hat den Vorteil, daß keine  
5 beispielsweise aus Elektroden bestehenden Totschichten zwischen dem dE-Detektor und dem Detektor zur Bestimmung der Restenergie benötigt werden.

Ferner hat der beschriebene Detektor und auch allgemein  
10 entsprechend aufgebaute kombinierte Detektoren den Vorteil, daß die Kapazität der einzelnen Detektoren sehr niedrig ist, da nicht die Dicke eines einzelnen Detektors für die Größe der Kapazität bestimmend ist, sondern die Gesamtdicke ( $d_1 + d_2$ ). Damit weist der dE-Detektor ein geringes Rauschen auf.  
15 Weiterhin ist der Sperrstrom des dE-Detektors sehr klein, da der sonst sehr kritische Rückkontakt entfällt. Schließlich ist der Detektor unabhängig von der Dicke mechanisch sehr stabil.

20 In der in Fig.4 gezeigten Form überlagert jedoch wiederum das von den Majoritätsträgern (Elektronen) influenzierte Signal das Minoritätsträgersignal (Löchersignal) im dE-Detektor bei geringem Abstand des Potentialminimums von einer Hauptoberfläche. Es ist deshalb vorteilhaft, Maßnahmen  
25 vorzusehen, die eine Analyse der Signale, beispielsweise der Signalform ermöglichen, und/oder den Einfluß der Influenz durch Absaugen der Elektronen reduzieren.

Ein vollständiges schnelles Absaugen der Elektronen ist da-  
30 durch möglich, daß unmittelbar nach dem Auftreffen eines Teilchens (interner Trigger) das Potentialminimum durch Verkleinern der Spannung  $U_3$  gekippt wird. Hierdurch laufen die Elektronen vergleichsweise schnell entlang des Potentialminimums aus dem Bereich der Elektrode E1 in das  
35 ringförmige  $n^+$ -Gebiet. Nachdem diese zum "Herauslaufen" der Elektronen erforderliche Zeit abgewartet worden ist,

1

stellt man den ursprünglichen Zustand ( $U_2=U_3$ ) wieder her und liest die gespeicherte Löcherinformation aus.

5 Fig. 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem der Einfluß der Influenz der Elektronen weitgehend ausgeschaltet ist. Bei dem in Fig. 5 gezeigten Ausführungsbeispiel soll angenommen werden, daß die Strahlung durch die Hauptoberfläche 2 einfällt. Hierbei sind in der Haupt-

10 oberfläche 2 abwechselnd Gebiete  $p_1, n_2, p_3, \dots$  vorgesehen, die p- bzw. n-dotiert sind. Die an den Gebieten  $n_2, n_4, \dots$  anliegende Spannung  $U_3$  ist um einen kleinen Betrag weniger negativ als die Spannung  $U_2$ , die an den Gebieten  $p_1, p_3, \dots$  anliegt:  $-U_3 \approx -(U_2 - dU)$ , so daß durch  
15 diese Vorspannung des pn-Übergangs in Sperrrichtung die Injektion von Majoritätsträgern, d.h. von Elektronen verhindert wird (Fig. 5a).

Zum Beseitigen, d.h. zum schnellen Absaugen der Elektronen  
20 im Potentialminimum werden die Spannung  $U_3$  oder die Spannungen  $U_3$  und  $U_2$  gleichzeitig in positiver Richtung oder/und die Spannung  $U_1$  in negativer Richtung verändert. Hierdurch wird das Potentialminimum in Richtung auf die  $n^+$ -dotierten Gebiete  $n_2, n_4, \dots$  hin verschoben, so daß die Elektronen im  
25 Potentialminimum in die  $n^+$ -Gebiete fließen können (Fig. 5b). Das Elektronensignal kann zur Bestimmung der Gesamtenergie benutzt werden.

Ferner können die Elektronen im Potentialminimum auch da-  
30 durch rasch abgesaugt werden, daß die Spannungen  $U_1, U_2$  und  $U_3$  vorübergehend so verändert werden, daß sich die Raumladungszonen nicht mehr berühren, d.h. das Potentialminimum verschwindet und eine dünne n-Schicht entsteht.

35 Bei einer weiteren Betriebsart kann die Konzentration der

1 Elektronen im Potentialminimum PM beispielsweise durch eine  
zusätzliche Belichtung so gesteigert werden, daß eine elek-  
trisch gut leitende Schicht entsteht, die die beiden Teile  
des Halbleiters trennt. Auch hier ist allerdings eine höhe-  
5 re Kapazität die Folge.

Fig. 6 zeigt einen Querschnitt durch ein erfindungsgemäßes  
voll depletiertes CCD-Halbleiterbauelement. Das CCD-Element  
weist wiederum einen n-leitenden Halbleiterkörper k auf,  
10 auf dessen Hauptoberfläche 1 sich eine CCD-Struktur und  
auf dessen Hauptoberfläche 2 sich eine Gegenelektroden-  
struktur befindet, die ein schnelles Auslesen der Minori-  
tätsträgersignale und Löschen der Signale beider Ladungs-  
trägerarten gestattet, um ein "Volllaufen" der CCD-Zellen  
15 zu verhindern.

Die CCD-Struktur auf der Hauptoberfläche 1 besteht in an  
sich bekannter Weise aus alternierend in Richtung der  
Oberflächennormalen versetzt angeordneten Elektroden 31,  
20 32, .... in bzw. auf einer Oberflächenoxidschicht 3 (MOS-  
Elektroden). An die Elektroden 31, 32, ... werden taktweise  
sich ändernde Spannungen  $\phi_1$  und  $\phi_2$  angelegt, die ein Ver-  
schieben der Majoritätsträger (Elektronen) und der Minori-  
tätsträger (Löcher) in jeweils entgegengesetzter Richtung  
25 zu Leseelektroden  $n_e$  bzw.  $p_e$  gestatten, an die Auslese-  
spannungen  $+U$  bzw.  $-U$  angelegt sind. Zur Erhöhung der  
Transferefficiency kann eine bekannte "buried-channel"-An-  
ordnung benutzt werden.

30 Die taktweise Variation der angelegten Spannungen ist be-  
kannt, so daß auf sie im vorliegenden Falle nicht näher  
eingegangen werden muß. Im Gegensatz zu den bekannten CCD-  
Elementen ermöglicht jedoch die an sich bekannte zwei- oder  
mehrphasige Variation der Spannung das gleichzeitige Ver-  
35 schieben sowohl der Majoritätsträger als auch der Minori-  
tätsträger in entgegengesetzter Richtung zu den jeweiligen  
Ausleseelektroden  $n_e$  bzw.  $p_e$ .

25-07-84

3427476

- 27 -

1 Auf der zweiten Hauptoberfläche 2 des Halbleiterkörpers k  
befindet sich eine streifenförmige Struktur, die al-  
ternierend aus p+ und n+ -dotierten Gebieten besteht. durch  
5 diese Struktur wird zum einen die vollständige Verarmung des  
Körper k an Majoritätsträgern möglich. Zum anderen gestattet  
die p+-Gebiete das schnelle Auslesen der Minoritätsträger,  
die in dem Teil des Körpers k zwischen der Hauptoberfläche 2  
und dem Potentialminimum für die Majoritätsträger bei-  
spielsweise durch einfallende Strahlung erzeugt worden sind.  
10 Die zwischen den p+-Gebieten angeordneten n+-Gebiete  
gestatten zum Löschen der CCD-Zellen das schnelle Absaugen  
der gespeicherten Majoritätsträger. Hierzu ist normalerweise  
die Spannung  $-(U-dU)$  geringfügig weniger negativ als die  
Spannung  $-U$ , so daß durch diese Vorspannung des pn-Übergangs  
15 in Sperrichtung die Injektion von Majoritätsträgern ver-  
hindert wird. Zum schnellen Absaugen der Elektronen wird die  
Spannung  $(-U-dU)$  kurzzeitig auf den Wert 0 oder einen Wert  
größer Null angehoben, so daß die Elektronen in die n+-Ge-  
biete fließen können. Ansonsten kann sinngemäß auch wie vor -  
20 stehend in Verbindung mit Fig.5 beschrieben verfahren werden.  
Das in Fig. 6 gezeigte Ausführungsbeispiel erlaubt die Auf-  
nahme von zwei Ladungsbildern. Verwendet man das Element  
gemäß Fig. 6 beispielsweise als Detektor für sichtbares und  
Infrarotlicht, so gibt das Minoritätsträger-Ladungsbild, das  
25 nur von den im Bereich zwischen der Hauptoberfläche 1 und PM  
erzeugten Minoritätsträgern hervorgerufen wird, das  
"sichtbare Bild", da die Eindringtiefe von Licht mit Wellen-  
längen im sichtbaren Bereich kleiner ist als die von Licht  
mit Wellenlängen im Infrarotbereich, während das Majoritäts-  
30 träger-Ladungsbild, das von den im gesamten Körper k erzeug-  
ten Majoritätsträgern hervorgerufen wird, das "Mischbild"  
aus Licht mit Wellenlängen vom Infrarotbereich bis zum  
sichtbaren Bereich wiedergibt.

35 Fig. 7 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung,

1 bei dem sich auch auf der Hauptoberfläche 2 eine Minoritäts-  
träger-CCD-Struktur befindet, die in gleicher Weise wie die  
in Verbindung mit Fig. 6 erläuterte Struktur auf der Haupt-  
oberfläche 1 aufgebaut ist. Lediglich die Elektrode  $n+$  zum  
5 Absaugen der Majoritätsträger entfällt, da diese an der  
Hauptoberfläche 1 gesammelt werden. Die zweite vorgesehene  
Elektroden  $p+$  ruft einen gewissen Abstoßeffekt hervor, durch  
den das Fließen der Majoritätsträger zu der Sammelelektrode  
für die Majoritätsträger unterstützt und der Verlauf des  
10 Potentialminimums "geglättet" wird.

Dieses Ausführungsbeispiel erlaubt die Aufnahme von drei  
Ladungsbildern, von denen zwei den beiden Ladungsbildern des  
Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 6 entsprechen, und das  
15 dritte Ladungsbild von den unter der Hauptoberfläche 2 ge-  
sammelten Minoritätsträgern hervorgerufen wird, die im Be-  
reich zwischen der Hauptoberfläche 2 und PM gebildet worden  
sind.

20 Das dritte Ladungsbild gibt - wiederum bei Bestrahlung mit  
Licht mit Wellenlängen vom Infrarot bis zum sichtbaren Be-  
reich, das reine "Infrarotbild", da die gesammelten Minori-  
träger ausschließlich von Licht mit Wellenlängen im Infra-  
rotbereich erzeugt worden sind.  
25

In den in den Fig. 6 und 7 gezeigten Ausführungsbeispielen  
sind die verschiedensten Merkmale kombiniert, von denen na-  
türlich zur Realisierung des erfindungsgemäßen Grundge-  
dankens nur ein Teil erforderlich ist. Ferner ist es  
30 möglich, die MIS-Elektroden zum Teil oder vollständig z.B.  
durch  $pn$ -Übergänge zu ersetzen.

Fig. 8 zeigt ein derartiges CCD-Element, bei dem ein Teil  
der MIS-Elektroden durch  $pn$ -Übergänge ersetzt ist. Bei  
35 diesem Ausführungsbeispiel befinden sich auf der Haupt-

1

oberfläche 1 abwechselnd p-Gebiete  $p_1, p_2$ ..und MOS-Strukturen 31, 32....., d.h. auf einer  $SiO_2$ -Oxidschicht 3 aufgedampfte Aluminiumschichten Al. Die Struktur auf der  
5 Hauptoberfläche 2 entspricht der Elektrodenanordnung bei dem in Verbindung mit Fig. 7 vorgestellten Ausführungsbeispiel.

Bei dem CCD-Element gemäß Fig. 8 können lediglich die Majoritätsträger, die im Potentialminimum PM gesammelt werden  
10 geschoben werden, die Signale der Minoritätsträger, die zu den p-dotierten Gebieten wandern, werden anderweitig, beispielsweise über die Struktur auf der Hauptoberfläche 2 ausgelesen.

15

Ferner ist es bei einem derartigen CCD-Element möglich, durch geeignete Dotierung eine Vorzugsrichtung für das Schieben "einzubauen".

20 Fig.9 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel, das in die verschiedenen Vorteile der vorstehend aufgeführten Ausführungsbeispiele vereint.

Auf der Hauptoberfläche 1 des Halbleiterkörpers k befindet  
25 sich eine Oxidschicht  $SiO_2$ , auf der eine Widerstandsschicht R aufgebracht ist. Die Widerstandsschicht R ist mit zwei Elektroden E1 und E2 kontaktiert. Ferner befindet sich in der Hauptoberfläche 1 ein Gebiet  $p+$  zum Sammeln der Minoritätsträger und ein Gebiet  $n+$  zum Sammeln der Majori-  
30 tätsträger. In der Hauptoberfläche 2 befindet sich ein hochohmiges Gebiet p, d.h.eine Widerstandsschicht, die mit Elektroden E3 und E4 kontaktiert ist.

Legt man an die Elektroden E1 bis E4 Spannungen  $U_1$  bis  $U_4$   
35 an, die die in Verbindung mit der Beschreibung zu Fig.1 angegebene Beziehung (\*) erfüllen, sowie an die Gebiete  $p+$  und

1  $n^+$  die Spannung  $-U_K$  und  $+U_A$ , so erhält man einen kontinuierliches CCD-Element für die Majoritätsträger sowie die Minoritätsträger, die zwischen der Hauptoberfläche 1 und PM gebildet werden.

5

Durch eine  $p^+$ -Schicht, die angrenzend an das  $n^+$ -Gebiet in der Hauptoberfläche 1 angeordnet ist, läßt sich die Kapazität der durch das  $n^+$ -Gebiet gebildeten Elektrode herabsetzen.

10

Dieses Element hat eine Reihe von Vorteilen:

Eine Positionsbestimmung von einfallenden Teilchen ist sowohl aus dem Majoritätsträger- als auch aus dem Minoritätsträger-Ladungsbild möglich.

15- An der Hauptoberfläche 2 steht ein schnelles Trigger-signal zur Verfügung, das Verhältnis der an den Elektroden  $E_3$  und  $E_4$  abgegriffenen Signale kann darüberhinaus zu einer groben Positionsbestimmung der einfallenden Strahlung verwendet werden kann.

20- Die Ausleseelektroden haben sowohl für Majoritätsträger als auch für Minoritätsträger eine geringe Kapazität, die sich für das Majoritätsträgersignal durch eine zusätzliche  $p^+$ -Schicht weiter herabsetzen läßt; ferner fließt ein niedriger Leckstrom.

25- Durch die kontinuierliche Verschiebung der Majoritätsträger und der Minoritätsträger ist Löschen "vollgelaufener Zellen" nicht erforderlich.

- Das Element ist als  $dE/E$ -Detektor verwendbar und erlaubt die Unterscheidung von gering und tief eindringender Strahlung

30 Fig. 10 zeigt eine Modifikation des in Fig. 9 gezeigten Ausführungsbeispiels, bei dem auch auf der Hauptoberfläche 2 eine Minoritätsträger-CCD-Struktur vorgesehen ist. Auf einer Isolationsschicht  $SiO_2$  befindet sich wiederum eine Widerstandsschicht  $R'$ , die über zwei Elektroden  $E_3$  und  $E_4$

35 kontaktiert ist, an die Spannungen  $U_3$  und  $U_4$  angelegt sind, die ebenfalls die Beziehung (\*) erfüllen können. Ferner befindet sich in der Hauptoberfläche 2 ein Gebiet  $p^+$ , an das die

1 Spannung  $-U_K$  angelegt ist, und in dem die Minoritätsträger gesammelt werden, die zwischen der Hauptoberfläche 2 und PM gebildet werden.

5 Das in Fig. 10 gezeigte Ausführungsbeispiel liefert wie das CCD-Element nach Fig. 7 drei Ladungsbilder, die beispielsweise dann, wenn das Element als Detektor für sichtbares Licht und Infrarotlicht verwendet wird, unterschiedliche Informationen ergeben.

10 Fig. 11 zeigt als weiteres Ausführungsbeispiel eine nach dem erfindungsgemäßen Prinzip aufgebaute Single-Photon-Avalanche-Diode. Die Diode weist wiederum einen Halbleiterkörper k auf, der bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel aus p-dotiertem Silizium besteht. Auf der Hauptoberfläche 1 befindet sich eine Isolationsschicht  $SiO_2$  aus Siliziumdioxid, in der sich ein "Fenster" aus ITO befindet. Unter dem Fenster befindet sich in der Hauptoberfläche 1 ein  $n^+$ -Gebiet  $n^+$ , das von einem p-dotiertem Verarmungsgebiet  $p^+$  umgeben ist. Auf der Rückseite befindet sich ein großflächiges niederohmiges  $n^+$ -Gebiet. An die einzelnen Gebiete sind die in Figur 11 dargestellten Spannungen angelegt, für die gilt:

25

$$U_2 \gg U_1$$

Aufgrund dieser Beziehung und geeigneter Dotierungsprofile befindet sich das Potentialminimum PM nahe der Hauptoberfläche 1. Das Potentialminimum schirmt damit die Elektronen, die in diesem Falle die Minoritätsträger sind, aus dem größten Teil des Halbleiterkörpers ab, so daß diese keinen unerwünschten Avalanche auslösen können.

35 Fig. 12 zeigt einen Detektor mit integrierten Feldeffekttransistoren, wobei für gleiche Elemente wie in den vorigen



Figuren die gleichen Bezugszeichen verwendet werden. Der Körper  $k$  besteht bei diesem Ausführungsbeispiel wieder aus  $n$ -dotiertem Silizium. Die mit  $S$ ,  $D$  und  $G$  bezeichneten Elemente bilden die Source, die Drain bzw. das Gate des Feldeffekttransistors. Durch die an das Gebiet  $p^+$  angelegte Spannung  $U_1$ ,  $U_2$  usw. sowie die an der Hauptoberfläche angelegte Spannung  $U_3$  wird im Halbleiterkörper wiederum ein Potentialminimum  $PM$  erzeugt. Die im Potentialminimum gesammelten Elektronen verändern das Oberflächenpotential im Kanal unter dem Gate  $G$  des Feldeffekttransistors, an dessen Source die Spannung  $U_1$  und an dessen Drain die Spannung  $U_2$  anliegen und steuern so den Drainstrom  $I_D$ . Durch Anlegen einer positiven Spannung  $U_1$  an das mit  $A$  bezeichnete  $n^+$ -Gebiet können die Majoritätsträger abgesaugt werden.

Die in Fig. 12 gezeigte Halbleiteranordnung, bei der die direkt unter dem Gate  $G$  erzeugten bzw. gesammelten Ladungen zerstörungsfrei gemessen werden können, ist nur eine von vielen Möglichkeiten, Halbleiteranordnungen "mit eingebauter Signalverarbeitung" zu realisieren. Beispielsweise läßt sich die Ankoppelung des Signals durch Potentialverschiebung an das Gate eines Feldeffekttransistors auch bei einer als Driftkammer betriebenen Halbleiteranordnung verwenden.

Eine Anordnung, bei der der Halbleiterkörper zwischen dem Potentialminimum und der Hauptoberfläche 2 nicht notwendigerweise als Strahlungsdetektor benutzt wird, kann in vorteilhafterweise als Ersatz einer Epitaxieschicht dienen. Halbleiterelemente, wie Transistoren, die ähnlich wie in Fig. 12 in die Hauptoberfläche 1 eingebaut sind, werden durch das Potentialminimum vom restlichen Halbleiterkörper "isoliert", da im Potentialminimum die Majoritätsträger gesammelt werden, und die Minoritätsträger durch das Potentialminimum für die Majoritätsträger, das für die Minoritätsträger ein Potentialmaximum darstellt, aus dem Gebiet zwischen dem Potentialmaximum und der Hauptoberfläche 2 zu der Hauptoberfläche 2 abfließen. Damit verhalten sich die eingebauten Halbleiterelemente, beispielsweise die

1

Transistoren ähnlich wie Elemente, die in einer Epitaxieschicht eingebaut sind. Sie weisen damit die gleichen Vorteile wie derartige Elemente auf, also z.B. hohe  
5 Geschwindigkeit der Signalverarbeitung in Folge kleiner Kapazitäten.

Drei Möglichkeiten der Isolation sind in den Fig. 13a bis c dargestellt.

10

Bei allen in den Fig. 13a bis c dargestellten Ausführungsbeispielen besteht der Körper k aus n-dotiertem Silizium. In der Hauptoberfläche 2 befindet sich ein niederohmiges Gebiet  $p^+$ , an das - wie vorstehend bereits mehrfach beschrieben -  
15 eine Spannung  $-U_2$  angelegt ist, die zusammen mit einer an eine Elektrode in der Hauptoberfläche 1 angelegten Spannung  $-U_1$  das Potentialminimum PM für die Majoritätsträger, d.h. bei dem gezeigten Ausführungsbeispielen die Elektronen erzeugt. Ferner befindet sich bei dem Ausführungsbeispiel ge-  
20 mäß Fig. 13a in der Hauptoberfläche 1 eine p-dotierte Wanne  $pW$ . Diese Wanne umgibt ein ringförmiges Gebiet  $n^+$ , an das eine Spannung  $U_4$  zum Absaugen der im Potentialminimum PM gesammelten Majoritätsträger angelegt ist.

25 In Fig. 13 a ist ein für CMOS-Schaltungen wichtiger komplementärer NMOS-Feldeffekttransistor in der p-Wanne  $pW$  dargestellt. Der Feldeffekttransistor weist in an sich bekannter Weise eine n-dotierte Source S und n-dotierte Drain D auf, zwischen denen das Gate G auf einer Isolationsschicht ange-  
30 ordnet ist. Da die Wanne  $pW$  durch das Potentialminimum PM für die Majoritätsträger, das ein Potentialmaximum für die Minoritätsträger ist, elektrisch vom Grundkörper k "isoliert ist", werden sowohl die Majoritätsträger, die im Potentialminimum PM gesammelt werden, als auch die Minoritäts-  
35 träger aus dem "bulk", d.h. dem Hauptteil des Grundkörpers k von der Wanne ferngehalten und umgekehrt. Durch diese elek-

1

trische "Isolation" der Wanne werden unerwünschte parasitäre Transistoren und insbesondere der CMOS-Schaltungen gefährlich parasitäre Thyristor vermieden. Die Schaltungen können  
5 deshalb gegen den "latch up-Effekt" sicher gemacht werden.

Fig. 13b und 13c zeigen die "Isolationsmöglichkeit" eines PMOS-Feldeffekttransistors in einem n-dotierten Siliziumsubstrat k durch das Potentialminimum PM, das bei dem in  
10 Fig. 13b gezeigten Ausführungsbeispiel durch mit negativen Spannungen  $-U_1$  und  $-U_3$  beaufschlagten Drain- und Source-Elektroden D bzw. S selbst erzeugt wird. In Fig. 13c übernehmen diese Aufgabe zusätzliche mit der Spannung  $-U_1$  beaufschlagte  $p^+$ -Gebiete, zwischen die der Transistor ein-  
15 gebaut ist.

Selbstverständlich sind auch andere Ausführungsformen sowie Kombinationen der beschriebenen Ausführungsformen möglich.

20 Vorstehend sind Ausführungsbeispiele ohne Beschränkung der Allgemeinheit beschrieben worden. Selbstverständlich sind im Rahmen des allgemeinen Erfindungsgedankens die verschiedensten Modifikationen möglich: Beispielsweise können ohne weiteres n- und p-dotierte Gebiete sinngemäß vertauscht oder  
25 eine Zylindergeometrie verwendet werden. Ebenso ist es möglich, in Halbleitern mit mehreren alternierenden angeordneten p-, n-, p-dotierten Gebieten sinngemäß mehrere Potentialminima erzeugen.

30 Darüberhinaus kann der Verlauf des Potentialminimums, der außer von der Spannung auch von der Dotierung des Halbleiterkörpers abhängig ist, dazu dienen, Dotierungsunterschiede, z.B. Änderungen des Widerstandes und/oder des Dotierungsprofils zu ermitteln. Daneben ist es auch mög-  
35 lich Effekte wie Rekombination, Trapping oder die Lebensdauer von Ladungsträgern zu untersuchen. Die Lage des Potentialminimums läßt sich beispielsweise aus dem Verhältnis der Dunkelströme der Minoritätsträger ermitteln.

- 35 -  
- Leerseite -

Nummer:  
Int. Cl. 4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

34 27 476  
H 01 L 29/02  
25. Juli 1984  
31. Oktober 1985

3427476

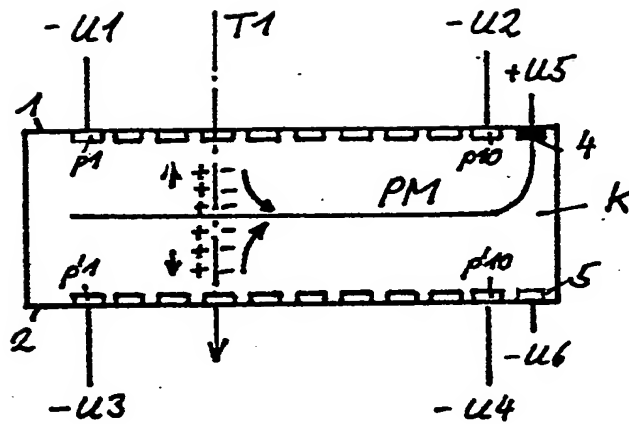


Fig. 1

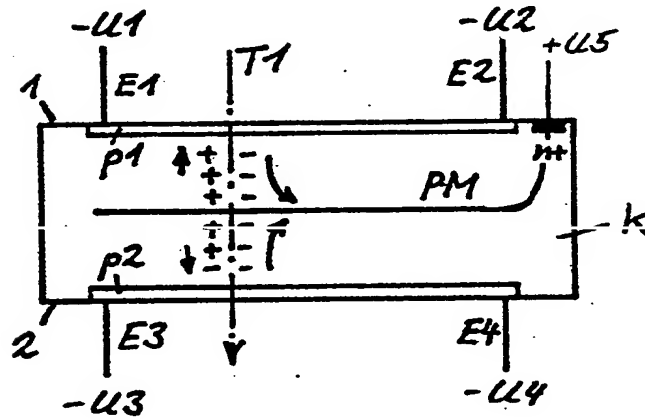


Fig. 2

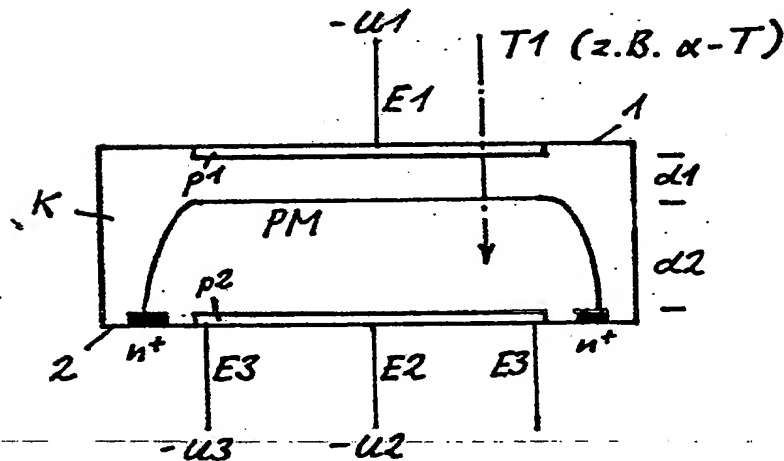
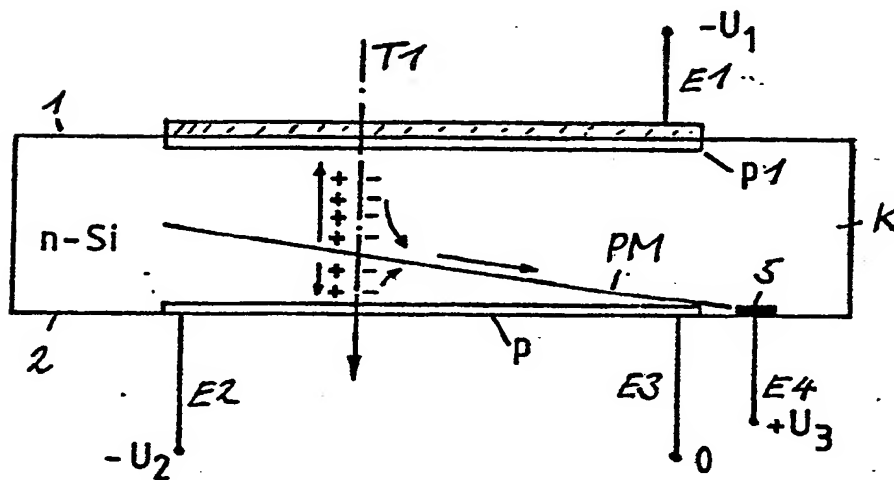
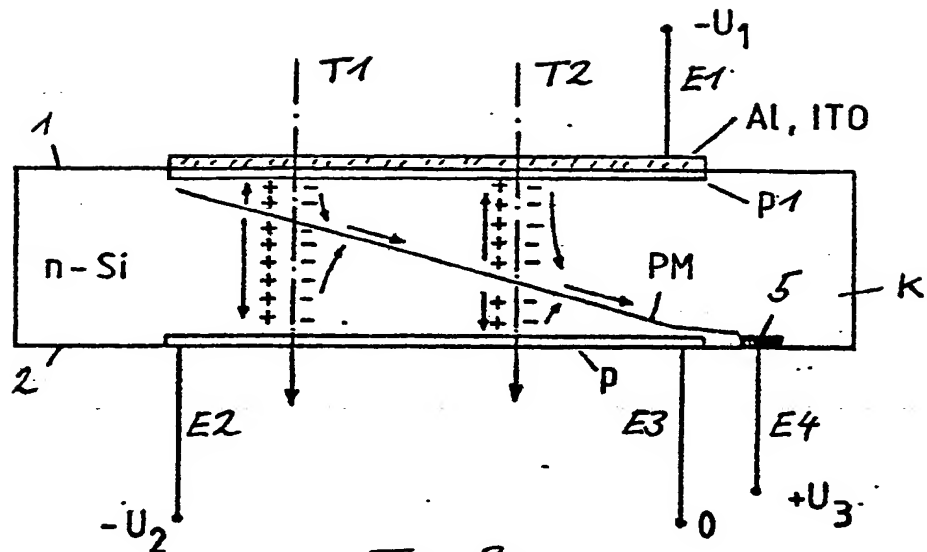


Fig. 4

Fig. 4



25-07-84

- 37 -

3427476

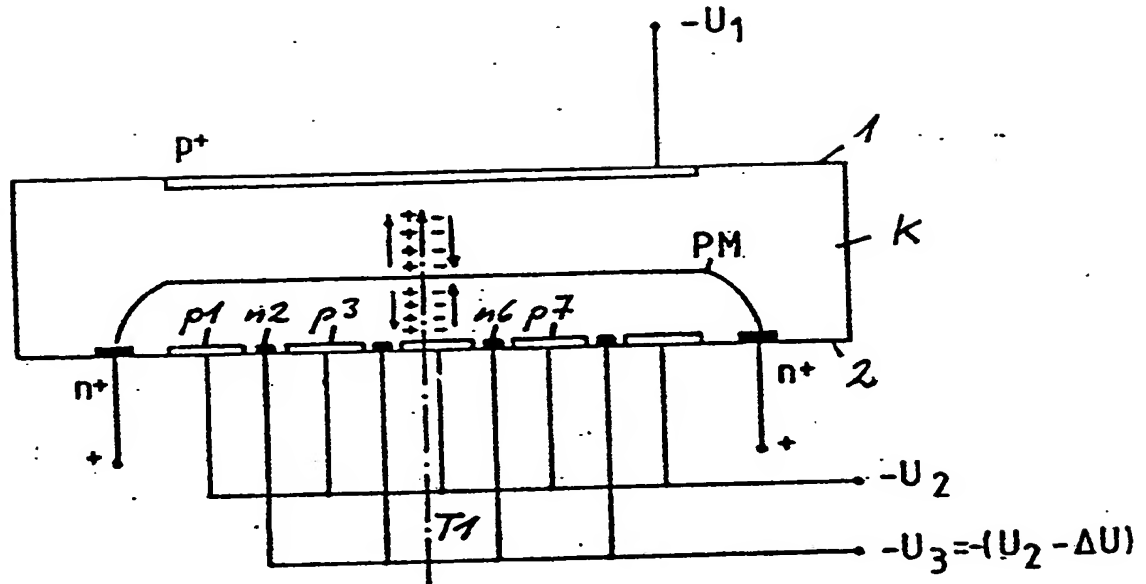


Fig. 5a

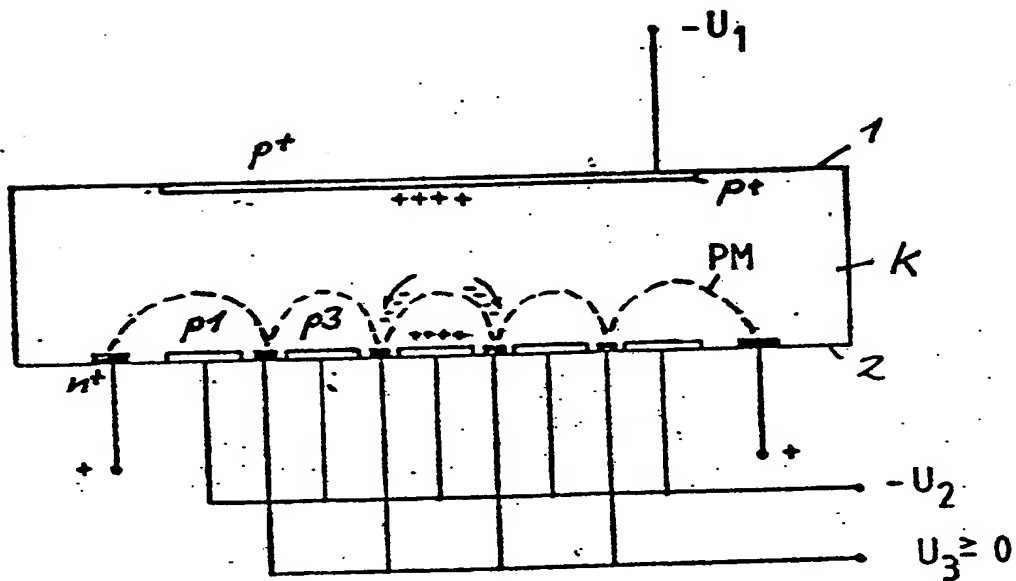


Fig. 5b

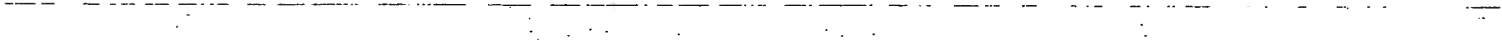


Fig. 6







Fig. 8

25-07-84

- 41 -

3427476

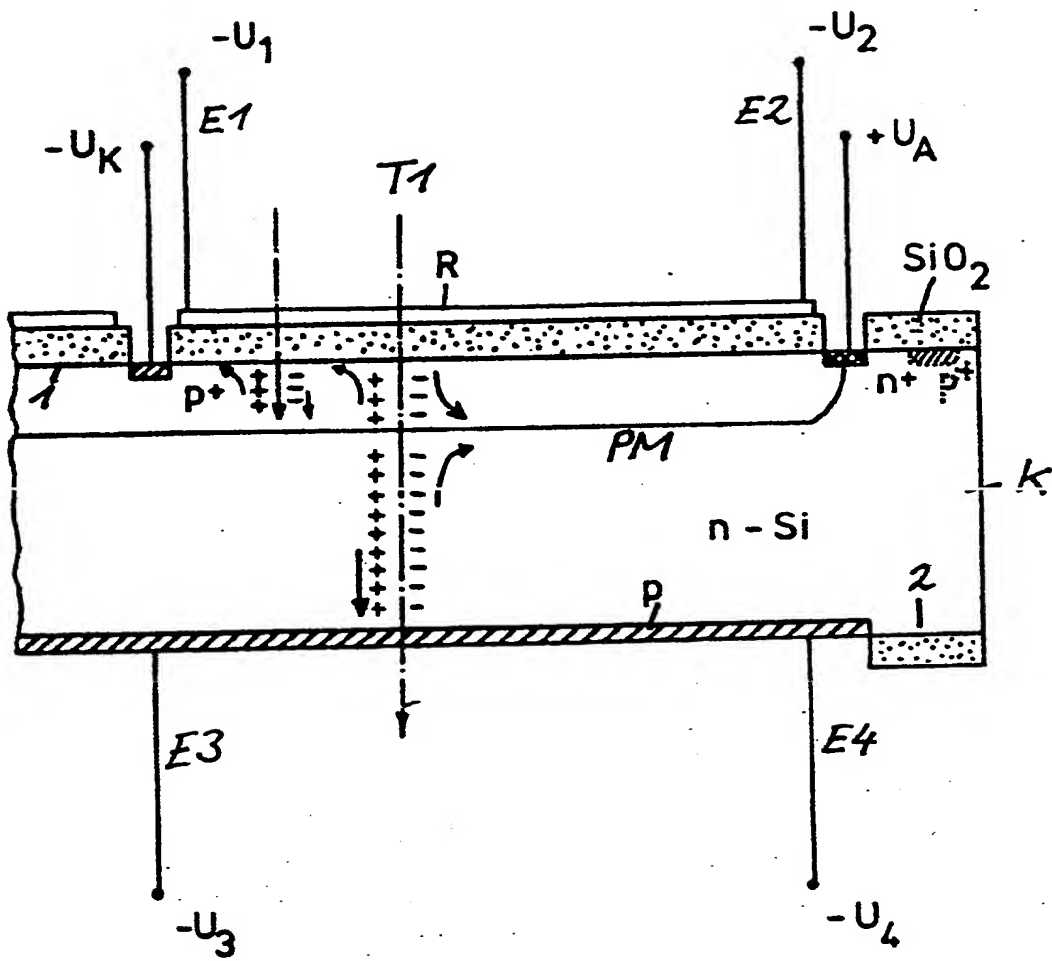


Fig. 9

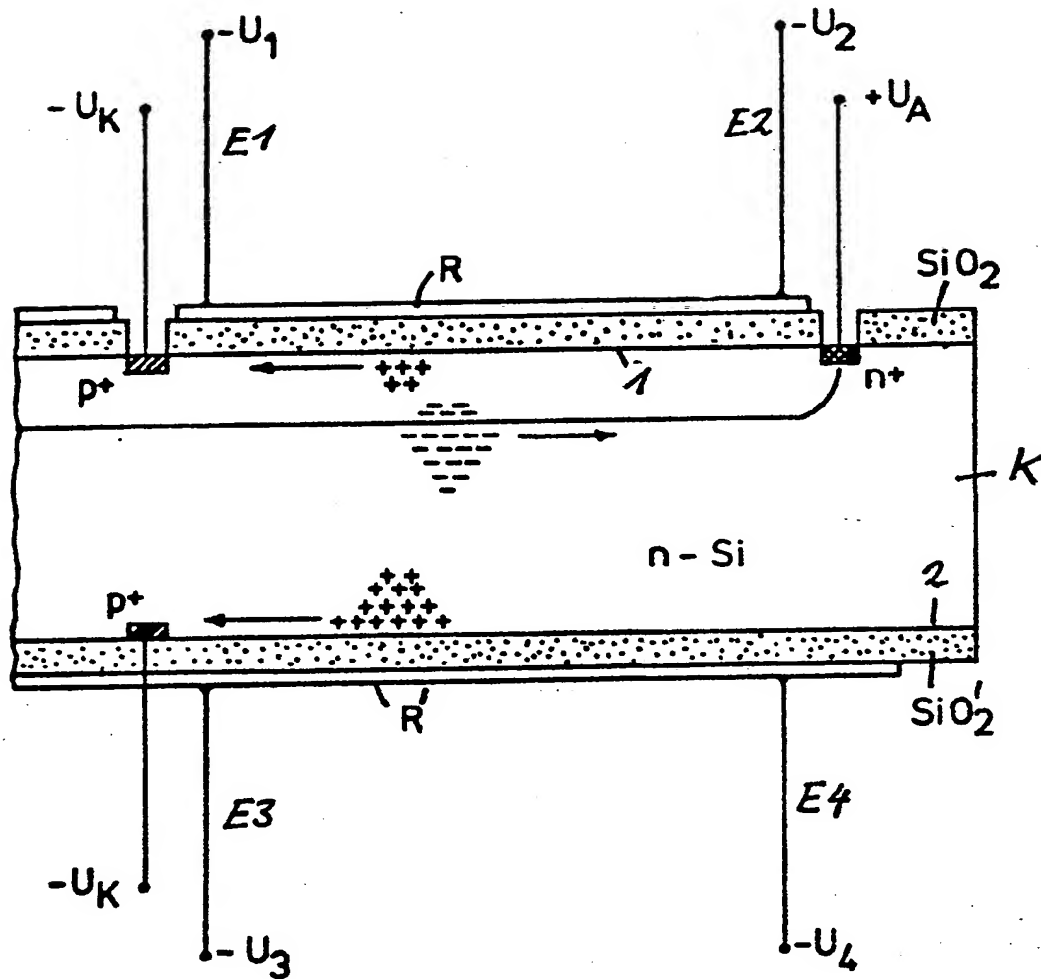
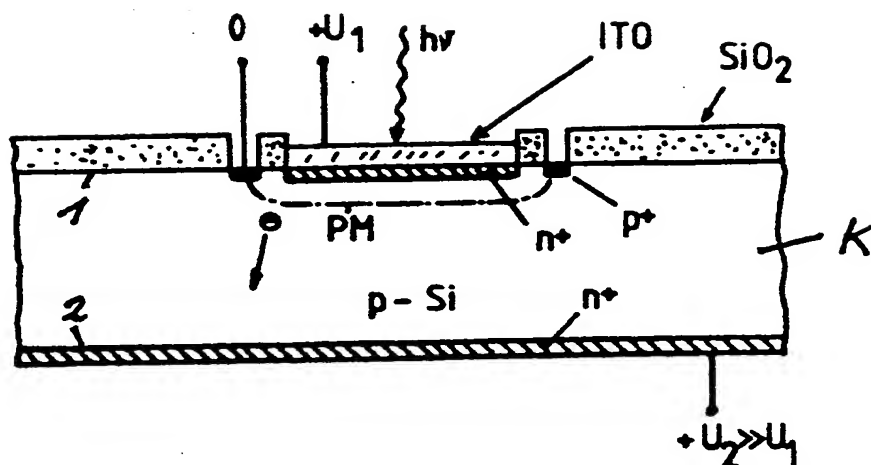
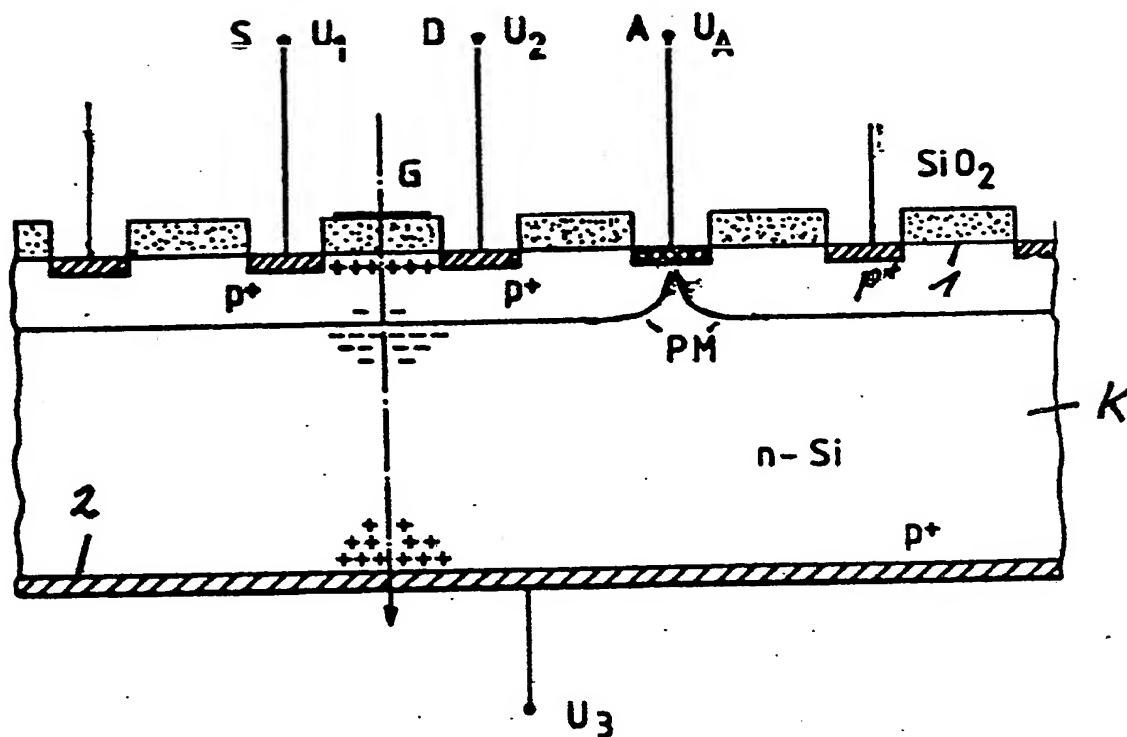


Fig. 10

Fig. 11Fig. 12

3427476

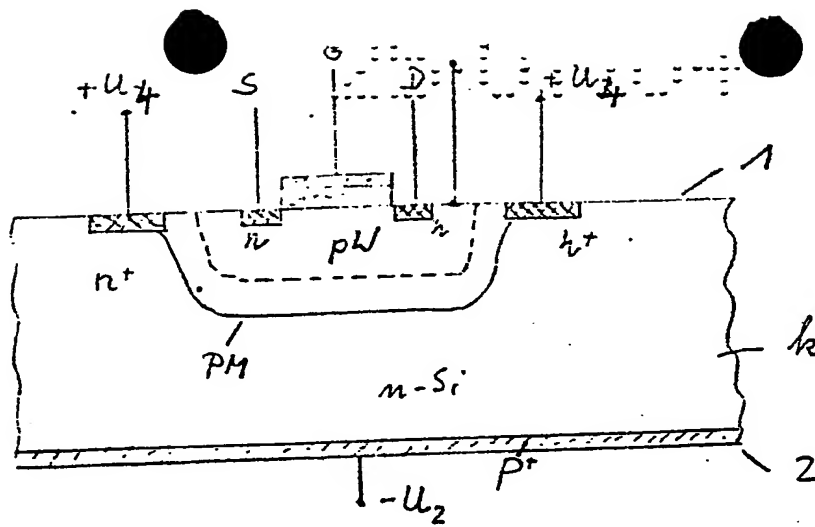


Fig. 13a

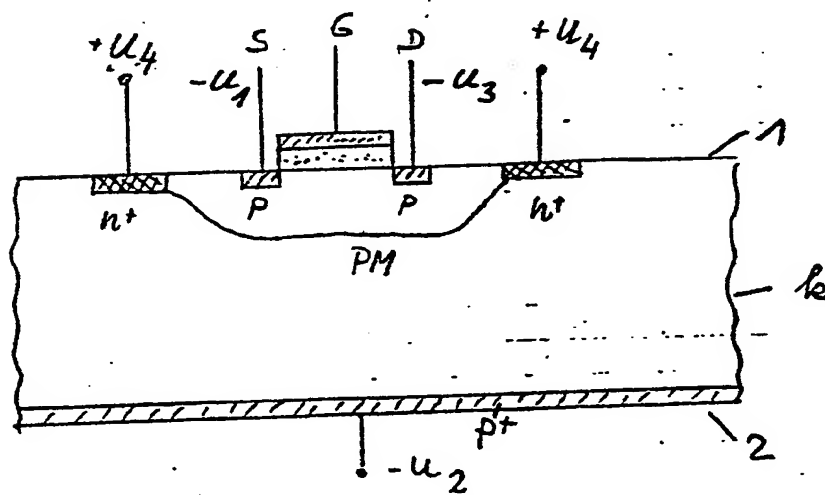


Fig. 13b

Fig.

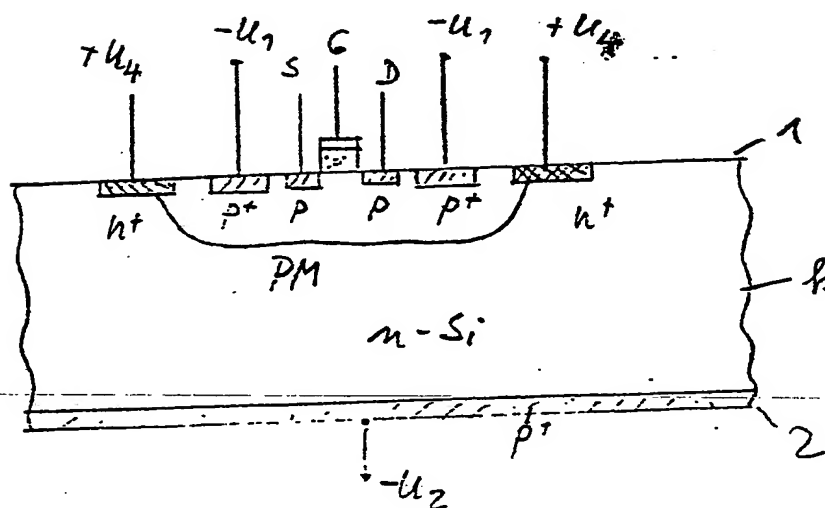


Fig. 13c